

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In Re U.S. Patent Application)

Applicant: Sawada et al.)

Serial No.)

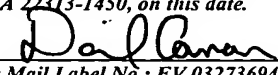
Filed: November 26, 2003)

For: TRAINING METHOD FOR)
RECORDING MEDIUM)
REPRODUCTION EQUALIZER)
AND RECORDING MEDIUM)
REPRODUCTION APPARATUS)

Art Unit:)

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service as EXPRESS MAIL in an envelope addressed to: Mail Stop PATENT APPLICATION, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on this date.

11/26/03
Date


Express Mail Label No.: EV 032736940 US

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicants claim foreign priority benefits under 35 U.S.C. § 119 on the basis of the foreign application identified below:


Japanese Patent Application No. 2002-348790, filed November 29, 2002

A certified copy of the priority document is enclosed.

Respectfully submitted,

GREER, BURNS & CRAIN, LTD.

By


Patrick G. Burns
Registration No. 29,367

November 26, 2003
300 South Wacker Drive
Suite 2500
Chicago, Illinois 60606
Telephone: 312.360.0080
Facsimile: 312.360.9315

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

7
4
This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this office.

Date of Application: November 29, 2002

Application Number: No. 2002-348790
[ST.10/C]: [JP 2002-348790]

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

July 31, 2003

Commissioner,
Patent Office

Yasuo Imai (Seal)

Certificate No. 2003-3061288

0941.68762
312.360.0080

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 1 月 2 9 日
Date of Application:

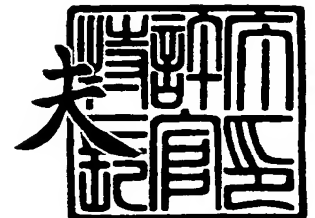
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 4 8 7 9 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 3 4 8 7 9 0]

出 願 人 富士通株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 3 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 1 2 8 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 0253141

【提出日】 平成14年11月29日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G11B 5/035

【発明の名称】 記録媒体再生用等化器のトレーニング方法、及び記録媒体再生装置

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 澤田 勝

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 ▲高▼津 求

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 菅原 隆夫

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデン
プレイスタワー32階

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【電話番号】 03-5424-2511

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0114942

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 記録媒体再生用等化器のトレーニング方法、及び記録媒体再生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

記録媒体から読み出されたリード信号を等化する F I R 型等化器のタップ毎の乗算係数を最適化するトレーニング動作において、F I R 型等化器出力とそこから判定した再生出力との間の等化誤差と F I R フィルタのタップ毎の遅延入力値とを基にして決定される係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影することによって得られるベクトルを当該 F I R フィルタのタップ毎の乗算係数の更新に適用する拘束後係数更新ベクトルとして使用する構成であって、

上記等化誤差を算出した際の等化器の乗算係数よりなる係数ベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとして使用する構成の記録媒体再生用等化器のトレーニング方法。

【請求項 2】

記録媒体から読み出されたリード信号を等化する F I R 型等化器のタップ毎の乗算係数を最適化するトレーニング動作において、F I R 型等化器出力とそこから判定した再生出力との間の等化誤差と F I R フィルタのタップ毎の遅延入力値とを基にして決定される係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影することによって得られるベクトルを当該 F I R フィルタのタップ毎の乗算係数の更新に適用する拘束後係数更新ベクトルとして使用する構成であって、

上記等化誤差を算出した際の等化器のタップ毎の乗算係数よりなる係数ベクトルと同じ条件におけるその一つ後の係数ベクトルとの差のベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとして使用する構成の記録媒体再生用等化器のトレーニング方法。

【請求項 3】

記録媒体から読み出されたリード信号を等化する F I R 型等化器のタップ毎の

乗算係数を最適化するトレーニング動作において、FIR型等化器出力とそこから判定した再生出力との間の等化誤差とFIRフィルタのタップ毎の遅延入力値とを基にして決定される係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影することによって得られるベクトルを当該FIRフィルタのタップ毎の乗算係数の更新に適用する拘束後係数更新ベクトルとして使用する構成であって、

上記等化誤差を算出した際の等化器の乗算係数よりなる係数ベクトルの同じ条件における一つ後の係数ベクトルと一つ前の係数ベクトルとの差のベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとして使用する構成の記録媒体再生用等化器トレーニング方法。

【請求項4】

記録媒体から読み出されたリード信号を等化するFIR型等化器のタップ毎の乗算係数を最適化するトレーニング動作において、FIR型等化器出力とそこから判定した再生出力との間の等化誤差とFIRフィルタのタップ毎の遅延入力値とを基にして決定される係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影することによって得られるベクトルを当該FIRフィルタのタップ毎の乗算係数の更新に適用する拘束後係数更新ベクトルとして使用する構成よりなる記録媒体再生装置であって、

上記等化誤差を算出した際の等化器の乗算係数よりなる係数ベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとして使用する構成の記録媒体再生装置。

【請求項5】

記録媒体から読み出されたリード信号を等化するFIR型等化器のタップ毎の乗算係数を最適化するトレーニング動作において、FIR型等化器出力とそこから判定した再生出力との間の等化誤差とFIRフィルタのタップ毎の遅延入力値とを基にして決定される係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影することによって得られるベクトルを当該FIRフィルタのタップ毎の乗算係数の更新に適用する拘束後係数更新ベクトルとして使用する構成よりなる記録媒体再生装置であって、

上記等化誤差を算出した際の等化器のタップ毎の乗算係数よりなる係数ベクトル

ル、同じ条件におけるその一つ前の係数ベクトル、並びにその一つ後の係数ベクトルのうちの何れか二つのベクトルの差のベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとして使用する構成の記録媒体再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は記録媒体再生用等化器のトレーニング方法、及び記録媒体再生装置に係り、特にハードディスク等の磁気記録媒体に記録されたデータを読み出すためのリードチャネル L S I 等よりなる記録媒体再生装置、並びにこのような記録媒体再生装置において、記録媒体から再生ヘッドによって読み出されたアナログ波形からデジタルデータを再生する際に最適な等化特性を得るための所謂適応等化器のトレーニング方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

デジタルデータが磁気記録された記録媒体から読み出されたアナログ信号からデジタルデータを復号する際、このリード（読み出し）信号を例えば P R （パーシャルレスポンス）方式における等化目標に等化する処理を行う（例えば特許文献 1 参照）。ここで上記等化処理を行うために使用される等化器は、再生ヘッドから得られるリード信号の周波数特性に合わせて当該等化器の所定の係数の調整制御によってリード信号を目標の P R 特性に等化する。

このような機能を有するリードチャネル L S I 等の再生装置において、等化器がリード信号の特性に適応するようにその係数を随時調整する（以下「トレーニング」と称する）方法として、所謂 L M S （L e a s t M e a n S q u a r e : 最小二乗法）アルゴリズムが使用される。ところがこの方法では、記録媒体のプリアンプル等からのリード信号等の周期性のある信号が入力されると上記トレーニング結果が最適値に収束せず、逆に発散してしまうということがある。

【0 0 0 3】

このような状況を防ぐため、磁気記録媒体であるハードディスクのセクタの先頭部にある所謂プリアンプル等の周期パターンを有する部分では、この等化器の

トレーニング動作を停止させていた。その結果、このプリアンプルでは、リード信号の利得を一定に保つAGC (Auto Gain Control) ループと、リード信号と同期したリードタイミングを確保するTR (Timing Recovery) ループとによる信号処理のみが行なわれることになる。

【0004】

又、これと別に上記等化器トレーニング動作をプリアンプルも含めて常時行なう方法として、プリアンプルではトレーニングによる係数の変化を拘束する方法がある。即ち、この方法では、プリアンプルからのリード信号を成す正弦波の周波数においては等化特性（利得、位相）が固定される拘束条件をLMS法に適用する。この方法は、上記拘束条件となる信号ベクトル（等化器のタップ長）と垂直な平面に係数ベクトルの変化ベクトルを拘束することで拘束条件の信号ベクトルに対する周波数応答を一定に保つものである。即ちこの方法では、プリアンプルにおいては実質的に等化器トレーニングは停止されることとなる。

【0005】

【特許文献1】

米国特許5,999,355号公報

【0006】

【特許文献2】

米国特許5,309,484号公報

【0007】

【特許文献3】

米国特許5,760,984号公報

【0008】

【特許文献4】

米国特許6,381,085号公報

【発明が解決しようとする課題】

上述の如く、ハードディスク用リードチャネルLSI等よりなる記録媒体再生装置は、上記AGCのループ及びTRのループが夫々等化器トレーニングのループと互いに影響し合い、もってループ制御の挙動が不安定となるという問題点を

内包する。この問題点に対し、等化器トレーニングのループ利得を他の2つ（AGC、TR）のループ利得より小さく設定する方法、等化器の係数の内、大きな係数をトレーニングによって調整せずに固定する方法等によって全体のループ制御の挙動の安定化を図る工夫等がなされていた。

【0009】

しかしながら所定の拘束条件にて連続してトレーニングを行なう方法では、記録媒体の多数のセクタを連続的に読み込んだ場合、修正し切れない誤差が蓄徐々に蓄積していつてしまうという問題があった。

【0010】

他方このような誤差の蓄積を防止するため、上記の如くプリアンプルからの信号に対する周波数特性を固定することによって意図的に連続的はトレーニングを行わない方法を採用した場合、ディスク媒体における温度変化、経年変化等にリアルタイムで追従した制御が行えないこととなり、もってデータ再生誤り率が悪化するという問題点が発生し得る。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記問題点に鑑み、等化器の利得と位相遅延特性を所定の態様で拘束することによって、AGC、TRの両ループと等化器係数トレーニングループとが相互に影響し合うことを抑え、連続トレーニングを可能にし、もって環境変動等に対する等化器のリアルタイムの追従を可能にする記録再生装置、及び等化器の係数トレーニング方法を提供することを目的とする。

当該目的の達成のため、本発明では、FIR型等化器の係数による等化特性を適応的に最適化するトレーニング動作において、FIR型等化器出力とそこから判定した復号化出力との間の等化誤差出力をFIRフィルタのタップ毎の入力値に応じた量にて該当する各タップの係数を更新する係数更新ベクトルを拘束する。そのため、当該係数更新ベクトルを所定の拘束条件ベクトルに直交する平面に射影して実際にFIRフィルタの更新に適用する係数更新ベクトルを得る。

【0012】

そしてその際、FIR型等化器の利得一定条件でのトレーニング動作を実現す

るため、上記等化誤差出力を算出した際の係数ベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとする。

【0013】

又、その際、FIR型等化器の位相一定条件でのトレーニング動作を実現するため、上記等化誤差出力を算出した際の係数ベクトルと、同じ条件におけるその一つ後の係数ベクトル（近似的にはFIRフィルタのタップを夫々一次数分高次側にシフトして最低次数に0を挿入）との差のベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとする。

【0014】

又、FIR型等化器の位相一定条件でのトレーニング動作を実現するため、上記等化誤差出力を算出した際の係数ベクトルに対する同じ条件における一つ後の係数ベクトル（近似的にはFIRフィルタのタップを夫々一次数分高次側にシフトして最低次数に0を挿入）と、上記等化誤差出力を算出した際の係数ベクトルに対する同じ条件における一つ前の係数ベクトル（近似的にはFIRフィルタのタップを夫々一次数分低次側にシフトして最高次数に0を挿入）との差のベクトルを前記所定の拘束条件ベクトルとする構成である。

【0015】

このような構成により、比較的簡易な演算にてFIR型等化器の利得一定、及び／又は位相一定条件で周波数特性を調整制御するトレーニング動作の続行が可能となる。このため、比較的簡易な構成にて、等化器トレーニングループと利得制御ループ、位相制御ループとの干渉によって制御が不安定化することを防止し得ると共に、状況変動にリアルタイムの追従可能な構成を有するFIR型等化器のトレーニング方法を実現可能である。

【0016】

【発明の実施の形態】

本発明の実施例の詳細な説明の前に、本発明の実施例の原理について説明する。

【0017】

図1は本発明の実施例の等化器に適用するFIR型等化器の一般的な回路構成

を示す。同図に示す如く、F I R 等化器は、磁気記録媒体からの読み出し信号に対して所定の信号処理が施された信号 $i(n)$ が入力され、これを順次遅延させる複数の遅延器（タプルレジスタ） Z^{-1} 、このように順次遅延された入力信号 $i(n-1)$ 、 $i(n-2)$ 、 \dots 、 $i(n-9)$ に対して所定の等化器係数 $h_0(n)$ 、 $h_1(n)$ 、 $h_2(n)$ 、 \dots 、 h_9 を夫々乗算する乗算器（ \times ）、並びにそれら乗算結果を合計する加算器 Σ よりなる。

【0 0 1 8】

ここで上記入力信号が順次遅延された値よりなる入力信号ベクトルを

【0 0 1 9】

【数 1】

$$\mathbf{I}(n) = (i(n), i(n-1), i(n-2), \dots, i(n-7), i(n-8), i(n-9))$$

等化器係数ベクトルを

【0 0 2 0】

【数 2】

$$\mathbf{H}(n) = (h_0(n), h_1(n), h_2(n), \dots, h_7(n), h_8(n), h_9(n))$$

とすると、この等化器出力は

【0 0 2 1】

【数 3】

$$y(n) = \mathbf{I}(n) \cdot \mathbf{H}(n)^T = \sum_{h=0}^9 h_k(n) i(n-k)$$

と表される。

【0 0 2 2】

磁気記録媒体再生の際にはこの等化器出力を基にして読み出しデータを復号し、そのようにして得られた復号データ（判定結果）と等化器出力との差違を求めて等化誤差出力とする。そして、この等化誤差出力が最小となるように L M S 法で等化器係数を調整する。

【0 0 2 3】

ここで、上記等化誤差出力は等化器出力 $y(n)$ と復号データ

【0 0 2 4】

【数 4】

$$\hat{y}(n)$$

との差として

【0 0 2 5】

【数 5】

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n)$$

で表され、更に、現時点の等化器係数ベクトル $H(n)$ に対する次クロックタイミングにおける等化器係数ベクトル $H(n+1)$ は、上記等化誤差出力 $e(n)$ と入力信号ベクトル $I(n)$ とから、

【0 0 2 6】

【数 6】

$$H(n+1) = H(n) - \mu e(n) I(n) \quad \dots(1)$$

として求める。尚、上式 (1) にて μ は所定のループ定数である。即ち、入力信号ベクトル $I(n)$ を、等化器係数 $H(n)$ を更新する係数更新ベクトルとして使用する。そして、LMS法では、このようにして随時等化器係数を更新して調整しながら等化動作を行ない、その結果得られる等化誤差出力 $e(n)$ の二乗が最小となるように各等化器係数を調整する。

【0 0 2 7】

ここで、ハードディスク用リードチャネル LSI よりなる記録媒体再生装置等において特に記録媒体のプリアンブルにおいて AGC のループ及び TR のループが夫々等化器トレーニングのループと互いに影響し合うことでループ制御の挙動

が不安定となるという問題点の解決のため、例えば等化器トレーニングにおいて等化器係数を拘束するためのプリアンプルにおける拘束条件ベクトルとして

【0028】

【数7】

$$\begin{aligned} \mathbf{C} &= (c_0, c_1, c_2, \dots, c_7, c_8, c_9) \\ &= (0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, 1) \text{ or } (1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0) \end{aligned}$$

を与え、この拘束条件ベクトルCに直交する平面への上記係数更新ベクトルI (n) を射影することによって得られるベクトルを新たな係数更新ベクトルとして実際の等化器係数の更新に使用する。

【0029】

このようにして、この拘束条件ベクトルCに相当する入力信号が与えられた場合には次式

【0030】

【数8】

$$\mathbf{C} \cdot \mathbf{H}(n)^T = K \text{ (定数)}$$

に示す如く、当該FIR型等化器の出力は一定値Kとなるようにする。その結果、上記の如く媒体のプリアンプル部においては該当する信号の周波数応答を一定に保つことが可能となる。そしてその結果、プリアンプル部において等化器係数が発散してしまうような状況を防止可能である。又、この場合、上記の如く、

【0031】

【数9】

$$(\mathbf{C}, \mathbf{I}(n)) = 0$$

即ち、係数更新ベクトルが常に拘束条件ベクトルCと直交するように等化器係数

の更新態様を拘束する。このような直交射影によって得られる新たな係数更新ベクトル $I'c(n)$ は、ベクトル計算により、以下の式で得られる。

【0032】

【数10】

$$I'c(n) = I(n) - \frac{(C, I(n))}{(C, C)} C$$

図2は上記各ベクトルを図示したものである。

【0033】

ところがこの方法ではプリアンプルにおいては等化器の周波数特性は固定されるため実質的には等化器トレーニングが停止されることとなり、上記の如くリアルタイムの追従性が失われることとなる。

【0034】

次に、本発明の一実施例による、FIR等化器の利得一定条件を実現するための拘束条件ベクトルの求め方について説明する。

【0035】

利得一定となる拘束条件は近似的に

【0036】

【数11】

$$|H(n)|^2 = H(n) \cdot H(n)^T = L(\text{定数})$$

で表すことが可能である。即ち、当該FIR等化器の利得を一定とするためには、図1における乗算器(×)にて各遅延信号に掛け合わされる等化器係数よりなる等化器係数ベクトル $H(n)$ の大きさを一定にすればよい。そのためには、近似的に等化係数ベクトルと $H(n)$ 係数更新ベクトル $I(n)$ とが直交する条件とすればよい。即ち、

【0037】

【数 1 2】

$$(\mathbf{H}(n), \mathbf{I}(n)) = 0$$

が成立する条件とする。

【0038】

即ち、現時点における等化器係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ を拘束条件ベクトル \mathbf{C} とすることにより、略利得一定条件での等化器トレーニングを達成可能となる。その際の拘束条件ベクトルとして適用する新たな拘束条件ベクトル $\mathbf{I}'g(n)$ は以下の式 (2) で求められる。

【0039】

【数 1 3】

$$\mathbf{I}'g(n) = \mathbf{I}(n) - \frac{(\mathbf{H}(n), \mathbf{I}(n))}{(\mathbf{H}(n), \mathbf{H}(n))} \mathbf{H}(n) \quad \dots(2)$$

又、この場合のベクトル図を図 3 に示す。図 3 では、拘束前の係数更新ベクトル $\mathbf{I}(n)$ が拘束条件ベクトル \mathbf{C} に直交する拘束平面に射影されて $\mathbf{I}'g(n)$ とされ、もって等化係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ は当該係数更新ベクトル $\mathbf{I}'g(n)$ にて略その大きさが等しい等化係数ベクトル $\mathbf{H}(n+1)$ に更新されることとなり、もって略利得一定の等化器トレーニングが達成可能となる。

【0040】

次に、本発明の一実施例による、位相遅延量一定の条件を満たす拘束条件を求める方法について説明する。等化器が係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ によって入力信号に与える位相遅延量を略一定に保ったまま周波数特性を調整制御しながら等化器トレーニングを行なって各係数の最適化を行なうためには、係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ の自己相関と、同じ条件、即ち係数更新をしない場合の 1 クロックタイミング後の係数ベクトル $s\mathbf{H}(n)$ との相関との差が一定値となる条件にて係数更新を行なえばよい。

【0041】

即ち、現在の等化器の係数ベクトル

$$【0\ 0\ 4\ 2】$$

【数 1 4】

$$\mathbf{H}(n) = (h_0(n), h_1(n), h_2(n), \dots, h_6(n), h_7(n), h_8(n))$$

同士の自己相関と、これと1クロックタイミング後の係数ベクトル

$$【0\ 0\ 4\ 3】$$

【数 1 5】

$$\mathbf{sH}(n) = (0, h_0(n), h_1(n), \dots, h_5(n), h_6(n), h_7(n))$$

との間の相関との差が一定、即ち

$$【0\ 0\ 4\ 4】$$

【数 1 6】

$$((\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n)), \mathbf{H}(n)) = M \text{ (定数)}$$

の条件を満たせばよい。尚ここでは係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ に対して、同じ条件、即ち係数更新をしない場合の1クロックタイミング分後の信号に対する係数ベクトル $\mathbf{sH}(n)$ を求めるのに、近似的に各係数をFIRフィルタのタップの高次側にシフトして最低次の係数として0を挿入している。

$$【0\ 0\ 4\ 5】$$

そして上式の条件を満たすためには、前述の式(1)から、係数更新ベクトル $\mathbf{I}(n)$ は以下の条件を満たせばよいことになる。

$$【0\ 0\ 4\ 6】$$

【数 1 7】

$$((\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n)), \mathbf{I}(n)) = 0$$

即ち、この場合の拘束条件ベクトル \mathbf{C} は $(\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n))$ となる。又、この場合の拘束条件を満たす新たな係数更新ベクトル $\mathbf{I}'_p(n)$ は、ベクトル

演算により以下の式で求められる。

【0047】

【数18】

$$\mathbf{I}'\mathbf{p}(n) = \mathbf{I}(n) - \frac{((\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n)), \mathbf{I}(n))}{((\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n)), (\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n)))} (\mathbf{H}(n) - \mathbf{sH}(n))$$

又、更に拘束の度合いを強めることが可能となる、以下の如くの方法も実施可能である。即ち、現時点の係数ベクトル $\mathbf{H}(n)$ と同じ条件、即ち係数更新をしない場合の1クロックタイミング後の係数ベクトルを $\mathbf{s}^+\mathbf{H}(n)$ 、1クロックタイミング前の係数ベクトルを $\mathbf{s}^-\mathbf{H}(n)$ とすると、夫々以下の如くに表され得る。

【0048】

【数19】

$$\mathbf{s}^+\mathbf{H}(n) = (0, h_0(n), h_1(n), \dots, h_6(n), h_7(n))$$

$$\mathbf{s}^-\mathbf{H}(n) = (h_1(n), \dots, h_6(n), h_7(n), h_8(n), 0)$$

ここでも、近似的に1クロックタイミング後の係数ベクトルは現時点の係数を高次側にシフトして最低次数の係数として0を挿入し、1クロックタイミング前の係数ベクトルは逆に現時点の係数を低次側にシフトして最高次数の係数として0を挿入することで求めている。

【0049】

この場合、上記同様に、位相遅延量一定の条件を達成するためには、現時点での係数ベクトルと1クロックタイミング後のものとの相関と現時点での係数ベクトルと1クロックタイミング前のものとの相関との差が一定、即ち、

【0050】

【数20】

$$((\mathbf{s}^+\mathbf{H}(n) - \mathbf{s}^-\mathbf{H}(n)), \mathbf{H}(n)) = N \text{ (定数)}$$

の条件を満たせばよく、そのためには前述の式 (1) から、係数更新ベクトル $I'_{pp}(n)$ は以下の条件を満たせばよい。

【0051】

【数21】

$$((s^+H(n) - s^-H(n)), I(n)) = 0$$

即ち、この場合の拘束条件ベクトル C は $(s^+H(n) - s^-H(n))$ となる。

【0052】

又、この場合の拘束条件を満たす新たな係数更新ベクトル $I'_{pp}(n)$ は、ベクトル演算により以下の式 (3) で求められる。

【0053】

【数22】

$$I'_{pp}(n) = I(n) - \frac{((s^+H(n) - s^-H(n)), I(n))}{((s^+H(n) - s^-H(n)), (s^+H(n) - s^-H(n)))} (s^+H(n) - s^-H(n)) \quad \dots (3)$$

図4は、上記位相遅延量一定条件を満たすための係数更新ベクトル $I(n)$ の拘束態様を示すための模式図である。図示の如く、現時点における係数ベクトル $H(n)$ と同条件における1クロックタイミング後の係数ベクトル $s^+H(n)$ 、1クロックタイミング前の係数ベクトル $s^-H(n)$ 間の差のベクトルを拘束条件ベクトル C とし、この拘束条件ベクトルと直交する拘束平面上に当該係数更新ベクトル $I(n)$ を射影することによって、係数更新ベクトル $I(n)$ を拘束して拘束後係数更新ベクトル $I'(n)$ を求める。

【0054】

尚、上記図3と共に説明した利得一定条件による係数更新ベクトルの拘束と図4と共に説明した位相遅延量一定条件による係数更新ベクトルの拘束とは、各々単独で該当等化器のトレーニングに適用することも可能であるが、以下の実施例の説明において述べる如く、両者を併せて同時に適用することが望ましい。

【0055】

以下に、上記実施例の原理を適用した本発明の一実施例の構成について図と共に詳細に説明する。

【0056】

図5は本発明の一実施例による拘束条件付トレーニング法を適用した等化器の全体ブロック図である。図示の如く、同等化器は、アナログフィルタ102、A/Dコンバータ101、等化器本体1、係数更新回路2、拘束条件部3、判定器4、及び加算器5とよりなる。

【0057】

この等化器では、媒体から読み出されたアナログのリード信号 S_R がアナログフィルタ102にて所定の等化処理を施され、A/Dコンバータ101にてサンプリングされてデジタル信号に変換される。このデジタル信号は等化器本体1にて所定のデジタル処理を施され、もって所定のターゲット応答が得られるように更に精密に等化処理が施される。等化器本体1の出力信号 y は判定器にて判定処理が施され、もって理想的なターゲット応答としての判定後信号

【0058】

【数23】

$$\hat{y}$$

(再生信号) が得られる。

【0059】

等化後信号 y にはノイズ、歪等による等化誤差が含まれており、これを最小化するために加算器5にて等化後信号 y と判定後信号

【0060】

【数24】

$$\hat{y}$$

との差、即ち等化誤差信号 $e(n)$ を求める。そして、拘束条件部 3、拘束更新回路 2 等の機能の適用によって等化器本体 1 の係数トレーニングを行ない、もって常に等化器本体 1 の係数（乗算係数）を最適な値に維持するものである。

【0061】

即ち、上記誤差信号 $e(n)$ 、等化器本体 1 を構成する FIR フィルタの各遅延器の入力であるタップ値（遅延入力値）よりなるタップベクトル（係数更新ベクトル） $I(n)$ 並びに等化器本体 1 において各タップ値毎に乗算する係数よりなる等化器係数ベクトル $H(n)$ を基に拘束条件部 3 がベクトル演算によって拘束条件ベクトル $I_{gp}(n)$ を求める。

【0062】

次に、係数更新回路 2 には、所定のループ定数 μ 、初期値ベクトル CI 、当該初期値をロードするタイミングを与える初期値ロード信号 S_L とが入力され、拘束条件部 3 から入力された拘束後の係数更新ベクトル $I_{gp}(n)$ によって決定される係数更新方向、即ち、等化器本体 1 の各タップ毎の更新比率にて誤差信号 $e(n)$ の値を等化器係数に反映させてこれを更新するものである。

【0063】

即ち、図 2 乃至 4 と共に説明した「拘束条件ベクトル C 」の決定方法に従って、拘束条件部 3 にてベクトル演算にて等化器本体 1 の利得と位相遅延量の変化を抑制する条件にて、この拘束条件ベクトル C を決定する。そして決定された拘束条件ベクトル C に直交する拘束平面上に等化器本体 1 のタップベクトルと等価な係数更新ベクトル $I(n)$ を拘束する条件（射影）にて拘束後の係数更新ベクトル $I_{gp}(n)$ を求め、これを係数更新部 2 に供給するものである。

【0064】

即ち、等化器本体 1 のフィルタタップ 201（図 6 参照）のレジスタ（遅延器） D_1 乃至 D_g 出力よりなる係数更新ベクトル $I(n) = (i_0, i_1, i_2, \dots, i_g)$ と誤差信号 $e(n)$ とのスカラ積をフィードバックするループを構成する（図 9 参照）ことにより、等化器係数ベクトル $H(n) = (h_0, h_1, h_2, \dots, h_g)$ を更新するものである。

【0065】

以下、当該等化器各部の詳細について説明する。

【0066】

図6は上記等化器本体1と係数更新回路2の内部構成を示す。同図に示す如く、等化器本体1はFIRフィルタの構成を有し、FIRフィルタ演算部6と、フィルタタップ201毎に設けられたタップレジスタ（遅延器） D_0 乃至 D_9 とよりなる。この等化器本体1の構成は、前述の図1に示すFIR等化器の構成に対応する。図8は上記FIRフィルタ演算部6の内部構成を示す。同図に示す如く、同演算部6はフィルタタップ201毎に設けられた乗算器 m と、乗算結果を合計する加算部 Σ とよりなる積和演算回路を成す。

【0067】

このような構成を有する等化器本体1では、A/Dコンバータ101にてサンプリングされたリード信号 S_R の値が順次タップレジスタ D_0 乃至 D_9 へとシフトされ、その都度同レジスタ内の値に対し、図6に示す係数レジスタ G_0 乃至 G_9 内の等化器係数 h_0 乃至 h_9 がタップ毎に乗算器 m にて乗算され、その合計がフィルタ出力 y として出力される。これら等化器係数 h_0 乃至 h_9 の各々が成分となって上記等化器係数ベクトル $H(n)$ が構成される。

【0068】

又、係数更新回路2は、係数更新部7とタップ毎に設けられた係数レジスタ G_0 乃至 G_9 とよりなる。図9はこの係数更新回路2の更に詳細を示す。同図に示す如く、係数更新部7は積分回路を構成し、タップ毎に、拘束条件部3から供給される拘束後係数更新ベクトル $I_{gp}(n)$ の各該当成分 I_0 乃至 I_9 を、加算器5より供給される上記フィードバック信号としての誤差信号 $e(n)$ （各タップ共通）の値で乗算する乗算器 M_1 と、この乗算結果に更に上記ループ定数 μ を乗算する乗算器 M_2 とを有する。

【0069】

同ループ乗数 μ によって当該フィードバックループの挙動が調整され得る。又、この係数更新部7は更に、タップ毎に、前回の等化器係数に乗算器 M_2 による乗算結果を加算して等化器係数を更新する加算器 S_u を有する。又、同じくタップ毎に設けられたセレクト S_e は、等化器係数の初期値 C_0 乃至 C_9 を初期値口

ード信号 S_L によるタイミングで各係数レジスタ G_0 乃至 G_g に設定するためのものである。

【0070】

このようにして拘束後係数更新ベクトル $I_{gp}(n)$ が積分され、もって等化器係数が随時更新される。

【0071】

図7は上記拘束条件部3の内部構成を示す。同図に示すごとく、同拘束条件部3は、利得拘束部8と位相遅延拘束部9とよりなる。尚、同部3に供給される等化器係数ベクトル $H(n)$ は図6に示す係数レジスタ G_0 乃至 G_g 内の値 (h_0 乃至 h_g) よりなり、1クロックタイミング後の等化器係数ベクトル $s + H(n)$ は、“0”及び係数レジスタ G_0 乃至 G_g 内の値 (0, h_0 乃至 h_g) よりなり、1クロックタイミング前の等化器係数ベクトル $s - H(n)$ は、係数レジスタ G_1 乃至 G_g 内の値及び“0” (h_1 乃至 h_g , 0) よりなる。

【0072】

図10はこのうちの利得拘束部8の内部構成を示す。同図に示す如く、利得拘束部8は、等化器係数ベクトル $H(n)$ と等化器タップベクトル (拘束前係数更新ベクトル) $I(n)$ との内積演算を行なう内積演算器10-1と、ここで得られたスカラー値としての内積値を等化器係数ベクトル $H(n)$ に対してスカラー積演算にて乗算する乗算器11と、等化器係数ベクトル $H(n)$ 同士のベクトル内積演算を行なう内積演算器10-2と、この内積値にて乗算器11による乗算結果をスカラー除算する除算器12と、その除算結果を等化器タップベクトル $I(n)$ からベクトル減算する減算器13とよりなる。この演算によって上記及び以下の式(2)にて示される利得拘束用の条件拘束ベクトル $I'_{g}(n)$ が求められる。

【0073】

【数25】

$$I'_{g}(n) = I(n) - \frac{(H(n), I(n))}{(H(n), H(n))} H(n) \quad \dots(2)$$

図 11 は上記位相遅延拘束部 9 の内部構成を示す。同図に示す如く、位相遅延拘束部 9 は、上記 1 クロックタイミング後の等化器係数ベクトル $s^+H(n)$ と 1 クロックタイミング前の等化器係数ベクトル $s^-H(n)$ との差を演算する加算器 14 と、上記利得拘束部 8 の出力である利得拘束後の係数更新ベクトル $I'g(n)$ と上記加算器 14 による減算結果とをベクトル内積する内積演算器 10-1 と、その内積演算結果を加算器 14 の減算結果にスカラー乗算する乗算器 11 と、加算器 14 の出力同士をベクトル内積する内積演算器 10-2 と、その内積演算結果で乗算器 11 の出力をスカラー除算する除算器 12 と、その除算結果から上記利得拘束後係数更新ベクトル $I'g(n)$ をベクトル減算する減算器 13 とよりなる。

【0074】

この構成にて、上記式 (3) と同等の以下の式 (3') の演算により、利得拘束後の係数更新ベクトル $I'g(n)$ に対して更に位相遅延量拘束後の係数更新ベクトル $Igp(n)$ が求められる。この拘束後係数更新ベクトル $Igp(n)$ が係数更新部 2 に供給される。

【0075】

【数 26】

$$Igp(n) = I'g(n) - \frac{((s^+H(n) - s^-H(n)), I'g(n))}{((s^+H(n) - s^-H(n)), (s^+H(n) - s^-H(n)))} (s^+H(n) - s^-H(n)) \quad \dots(3')$$

図 12 乃至 15 は、夫々上記利得拘束部 8、位相遅延拘束部 9 を構成するベクトル内積演算器 10-1、10-2、スカラー積用乗算器 11、スカラー除算用除算器 14、及びスカラー加算用加算器 13 の各々の詳細構成例について示す。各演算器の詳細な構成及び動作については同図の内容を参照することによって明白であり、その説明を省略する。

【0076】

図 16 は、上記拘束条件部 3 の他の構成例を示す。利得、位相遅延拘束後の係数更新ベクトル $Igp(n)$ を求める際に必要となる除算には、一般にデータビット長分の演算サイクルが必要とされ、そのために演算遅延時間が発生する。図

16の回路はその演算遅延量を効果的に削減するため、必要となる除算器数を削減し得る回路構成を有する。

【0077】

即ち、上記式(3')の第2項の分母は、

$$\begin{aligned} & ((s + H(n)) - s - H(n)), (s + H(n)) - s - H(n) \\ &= |s + H(n)|^2 + |s - H(n)|^2 - 2(s + H(n), s - H(n)) \end{aligned}$$

と変形出来、この場合

$$|s + H(n)|^2 = h_0^2 + h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + h_6^2 + h_7^2 + h_8^2$$

$$|s - H(n)|^2 = h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + h_6^2 + h_7^2 + h_8^2 + h_9^2$$

である。

【0078】

ここでハードディスク装置の等化器では、一般にフィルタタップの両端の係数値である h_0 、 h_9 は中心側タップの係数値に比して十分小さいため、

$$|s + H(n)|^2 = |s - H(n)|^2 = |H(n)|^2$$

と近似可能である。又、

$$\begin{aligned} & (s + H(n), s - H(n)) \\ &= h_0 h_2 + h_1 h_3 + h_2 h_4 + h_3 h_5 + h_4 h_6 + \\ & \quad h_5 h_7 + h_6 h_8 + h_7 h_9 \end{aligned}$$

$$= \Delta H$$

と置く。その結果、

$$\begin{aligned} & ((s^+ H(n) - s^- H(n)), (s^+ H(n) - s^- H(n))) \\ &= |s^+ H(n)|^2 + |s^- H(n)|^2 - 2(s^+ H(n), s^- H(n)) \\ &= 2|H(n)|^2 - 2\Delta H \end{aligned}$$

と簡略化可能である。このうち、係数の二乗和である第1項は利得拘束によって一定値Gから変化しないため、上式、即ち上式(3')第2項の分母は更に、

$$2(G^2 - \Delta H)$$

と簡略化可能である。

【0079】

図16に戻って説明するに、内積演算器10-3、スカラー乗算器11-1は夫々図10の内積演算器10-1、スカラー乗算器11に対応し、スカラー乗算器11-2は図10中のスカラー除算器12同様、 $(H, I) \times H$ を G^2 で除するものである。その結果、利得拘束後係数更新ベクトル $I' g(n)$ が得られる。

【0080】

他方、加算器14-1は図11の加算器14に対応し、内積演算器10-4は図11中の内積演算器10-1に対応する。更に、スカラー乗算器11-3は図11中のスカラー乗算器11に対応する。又、 ΔH 演算器15は図17に示す構成を有し、上記の ΔH を算出する。そして減算器13-2にて G^2 から ΔH を減算して $G^2 - \Delta H$ を求める。

【0081】

除算器16は、これの逆数を更に2で除することによって上式(3')の第2

項の分母を得る。そしてその値に対して乗算器 11-4 による演算にて式 (3') の第 2 項を得る。最後に加算器 13-2 にて式 (3') の演算が完了し、利得拘束後位相遅延拘束後係数更新ベクトル $I_{gp}(n)$ が得られる。

【0082】

このように、図 5 に示す本発明の実施例による等化器では、比較的簡易な構成にて FIR フィルタによる等化器本体 1 の係数トレーニングを、同等化器本体の利得と位相遅延量の双方を同時に拘束した状態で周波数特性を調整制御することで行なうことが可能となる。

【0083】

尚、本発明は上記実施例に限られず、本発明の基本思想にしたがう限りにおいて様々な変形例が実施可能であることは言うまでもない。

【0084】

【発明の効果】

本発明によれば、比較的簡易な構成にて確実に等化器の利得と位相遅延量を拘束した条件にて、随時その周波数特性を調整制御することで等化器の係数を最適化するトレーニングを実現可能である。よって、記録媒体再生装置において経年変化等による記録媒体の特性劣化等によっても当該媒体から読み出されたリード信号を確実に低誤り率にて再生可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施例の等化器本体に適用可能な FIR フィルタの概略構成を示すブロック図である。

【図 2】

従来の係数更新ベクトルの拘束態様の一例を説明するためのベクトル図である。

【図 3】

本発明の一実施例の等化器のトレーニング方法による係数更新ベクトルの等化器利得拘束態様の一例を説明するためのベクトル図である。

【図 4】

本発明の一実施例の等化器のトレーニング方法による係数更新ベクトルの等化器位相遅延量拘束態様の一例を説明するためのベクトル図である。

【図 5】

本発明の一実施例による記録媒体再生装置としての、リード信号等化器のブロック図である。

【図 6】

図 5 中の等化器本体及び係数更新回路の内部構成を示す回路図である。

【図 7】

図 5 中の拘束条件部の内部構成を示す回路図である。

【図 8】

図 6 中の F I R フィルタ演算部の内部構成を含む等化器本体の構成を示す回路図である。

【図 9】

図 6 中の係数更新部の内部構成を含む係数更新回路の構成を示す回路図である。

【図 1 0】

図 7 中の利得拘束部の内部構成を示す回路図である。

【図 1 1】

図 7 中の位相遅延量拘束部の内部構成を示す回路図である。

【図 1 2】

図 1 0, 1 1 中の各演算器の内部構成を示す回路図（その 1）である。

【図 1 3】

図 1 0, 1 1 中の各演算器の内部構成を示す回路図（その 2）である。

【図 1 4】

図 1 0, 1 1 中の各演算器の内部構成を示す回路図（その 3）である。

【図 1 5】

図 1 0, 1 1 中の各演算器の内部構成を示す回路図（その 4）である。

【図 1 6】

拘束条件部 3 の他の実施例を示す回路図である。

【図 1 7】

図 1 6 中の ΔH 演算部の内部構成を示す回路図である。

【符号の説明】

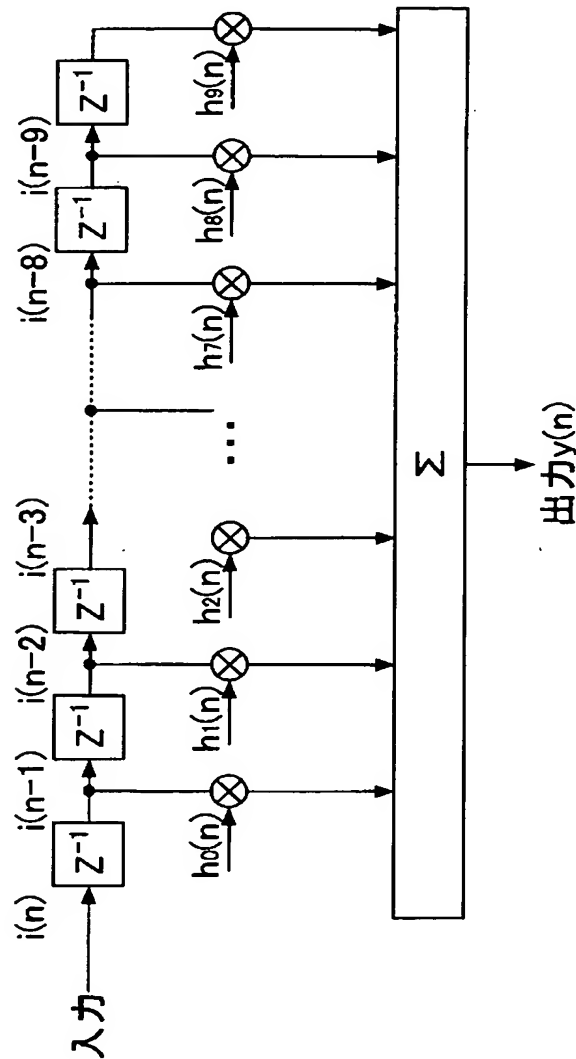
- 1 等化器本体
- 2 係数更新回路
- 3 拘束条件部
- 4 判定器
- 8 利得拘束部
- 9 位相遅延拘束部

【書類名】

図面

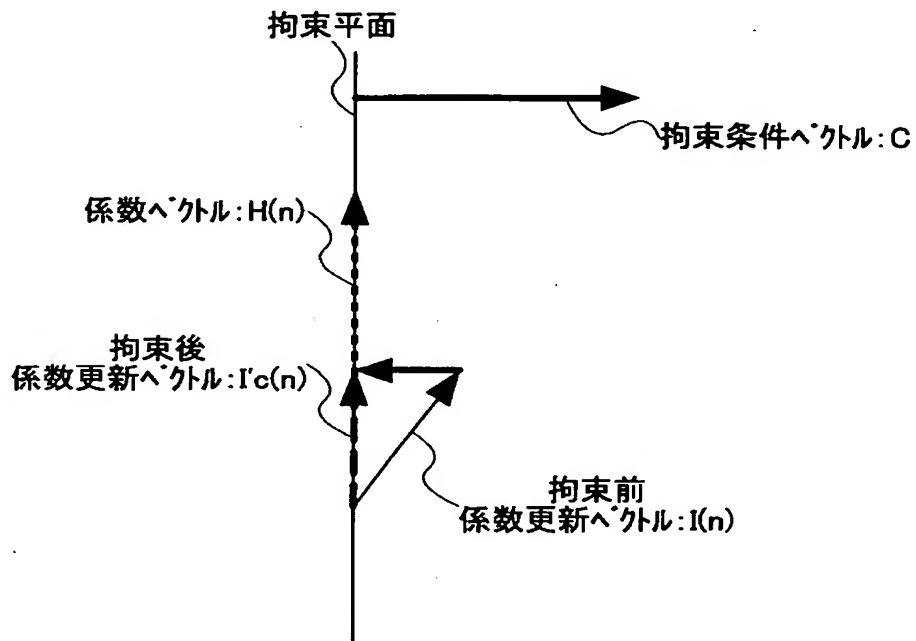
【図 1】

本発明の一実施例の等化器本体に適用可能な F I R フィルタの概略構成を示すブロック図



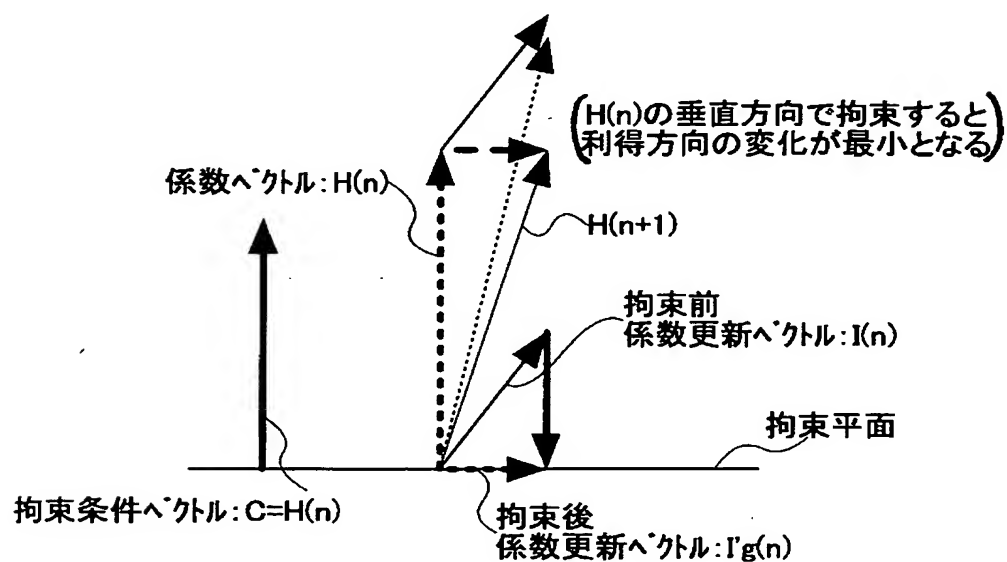
【図 2】

従来の係数更新ベクトルの拘束態様の一例を
説明するためのベクトル図



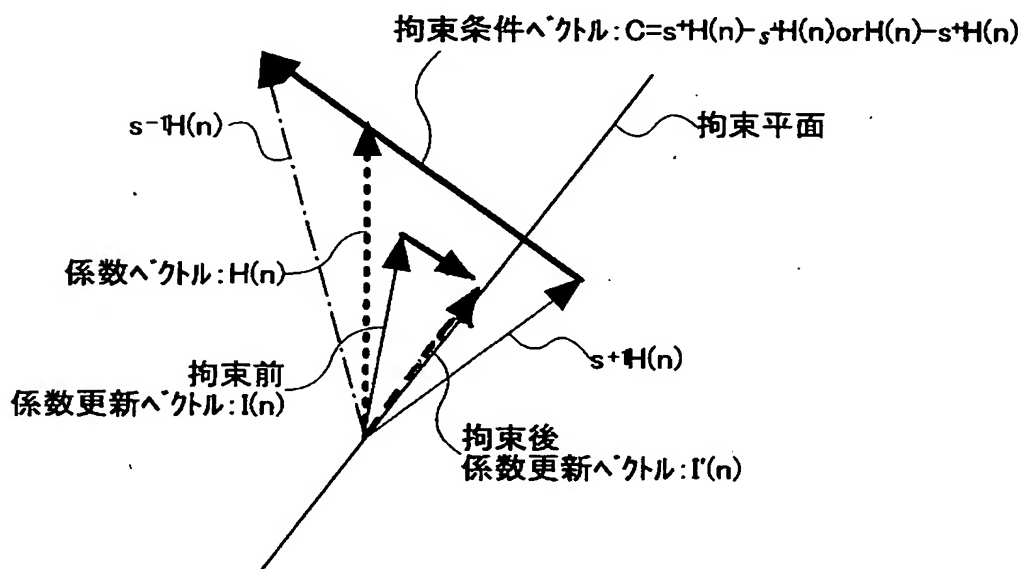
【図 3】

本発明の一実施例の等化器のトレーニング方法による
係数更新ベクトルの等化器利得拘束態様の一例を
説明するためのベクトル図



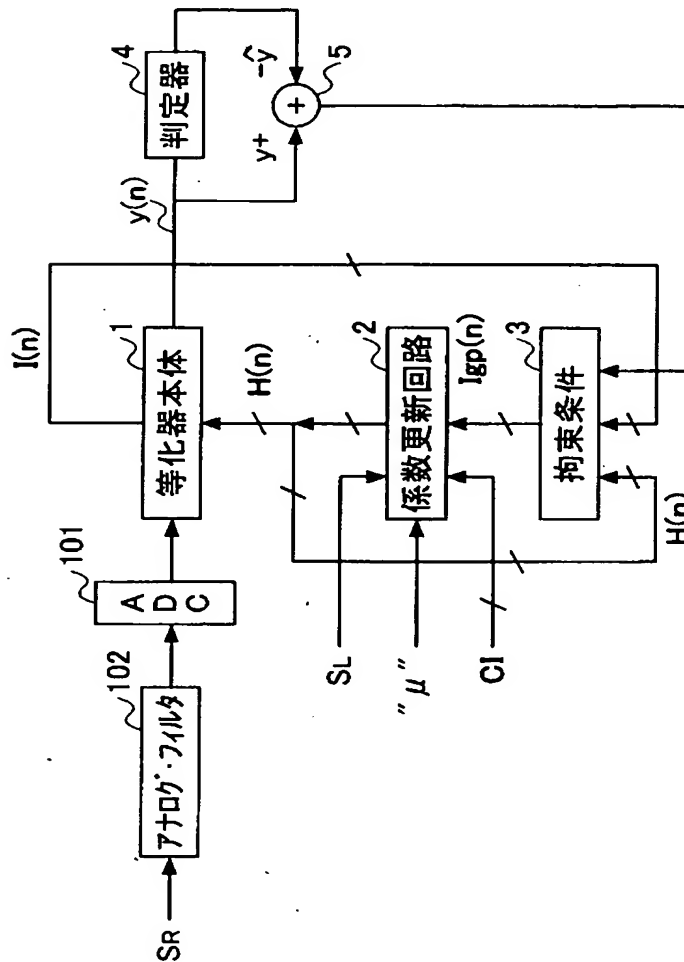
【図 4】

本発明の一実施例の等化器のトレーニング方法による
係数更新ベクトルの等化器位相遅延量拘束態様の
一例を説明するためのベクトル図



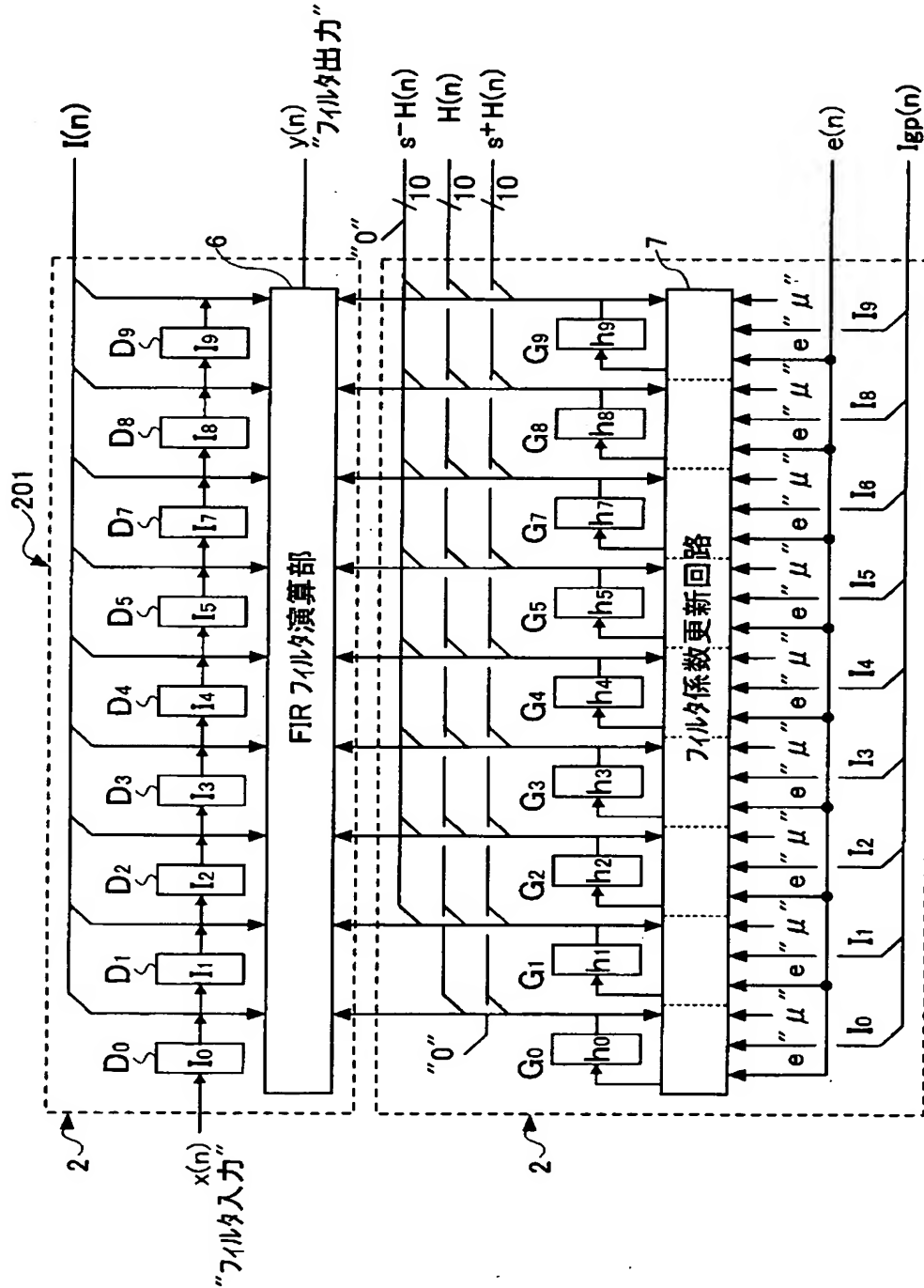
【図 5】

本発明の一実施例による記録媒体再生装置としての、
リード信号等化器のブロック図



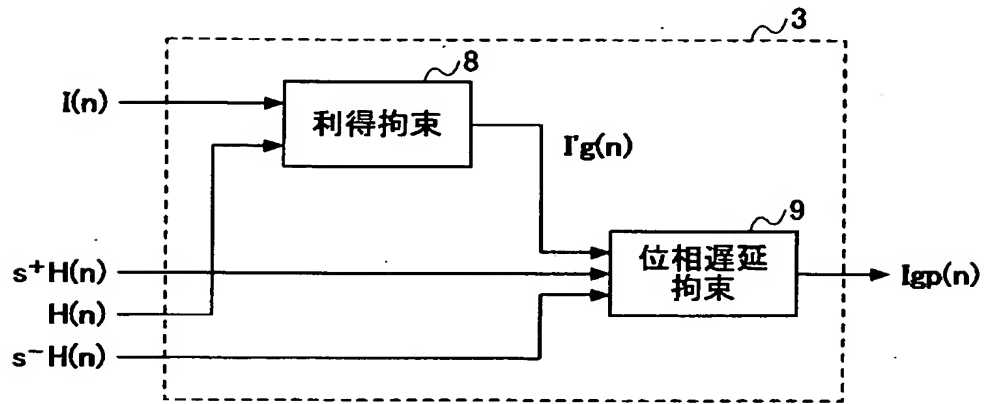
【図 6】

図 5 中の等化器本体及び係数更新回路の内部構成を示す回路図



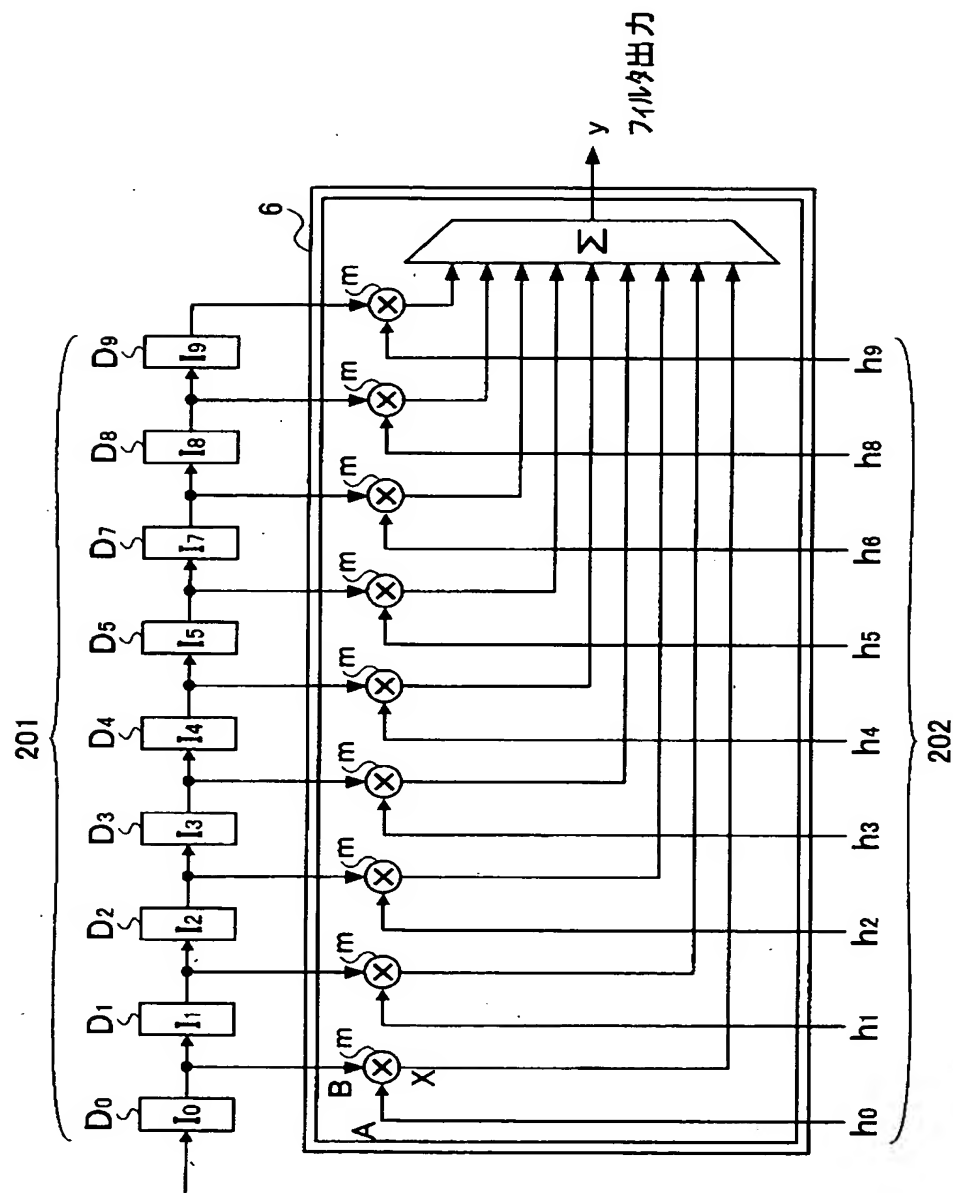
【図 7】

図 5 中の拘束条件部の内部構成を示す回路図



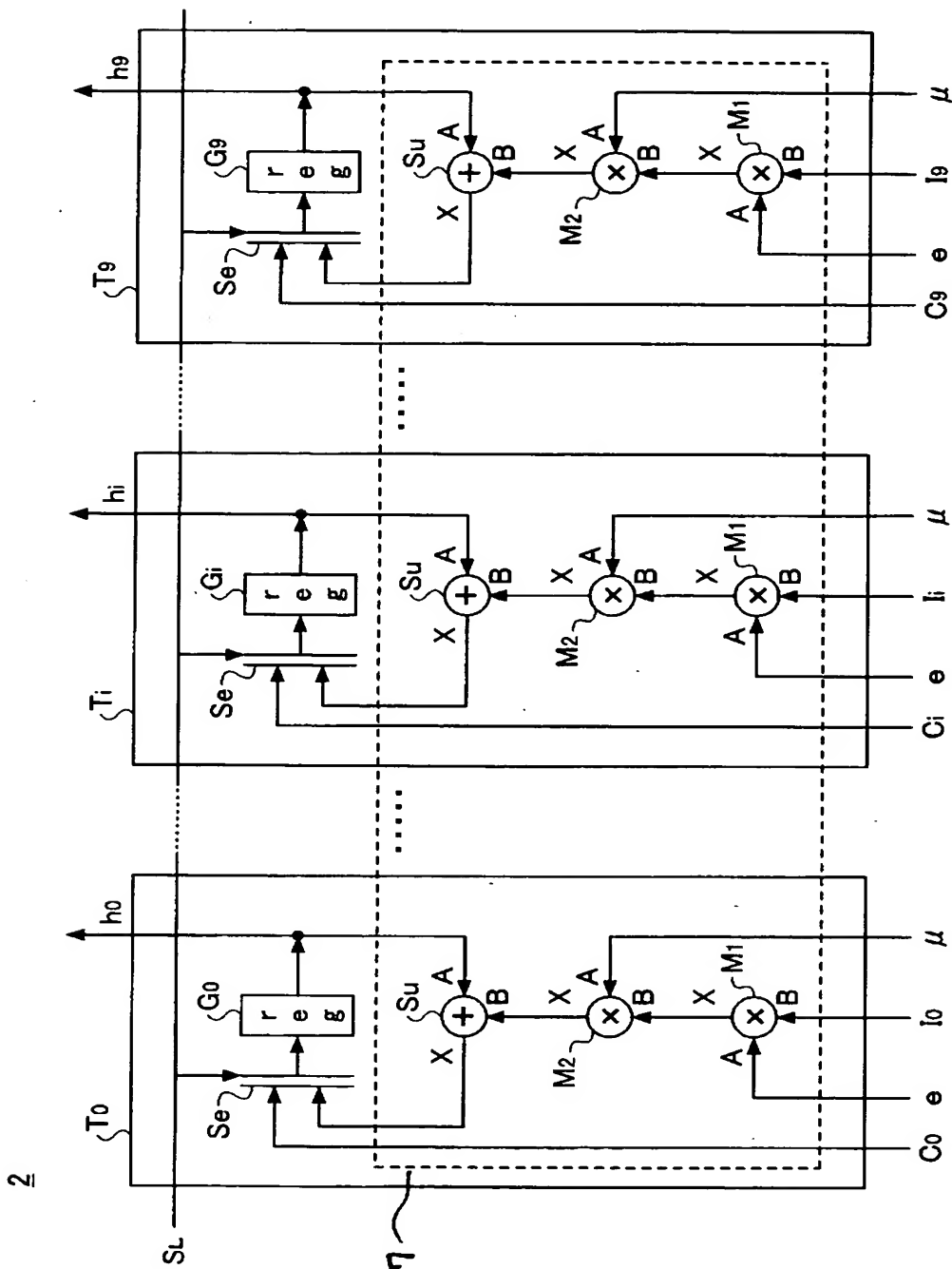
【図 8】

図 6 中の F I R フィルタ演算部の内部構成を含む等化器本体の構成を示す回路図



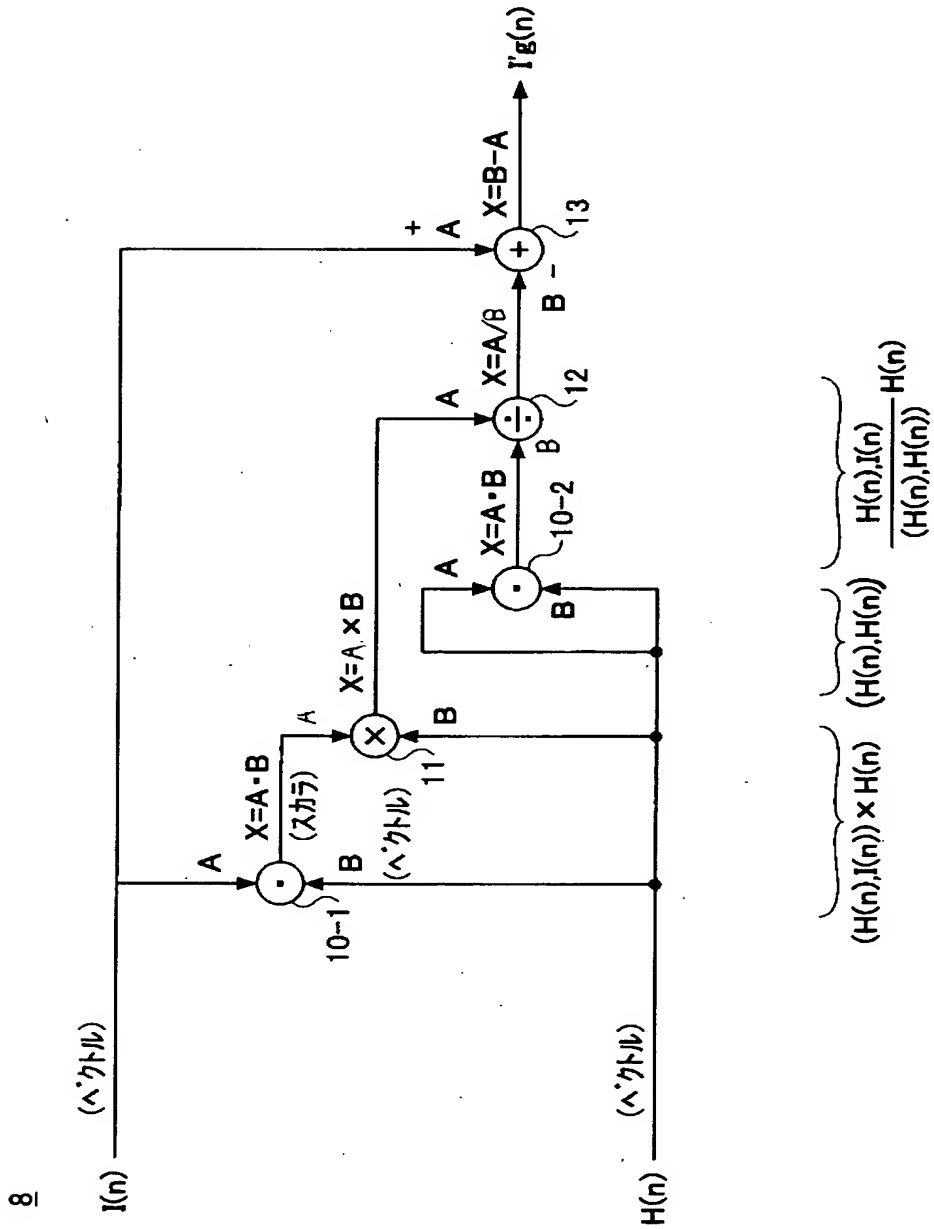
【図 9】

図 6 中の係数更新部の内部構成を含む係数更新回路の構成を示す回路図



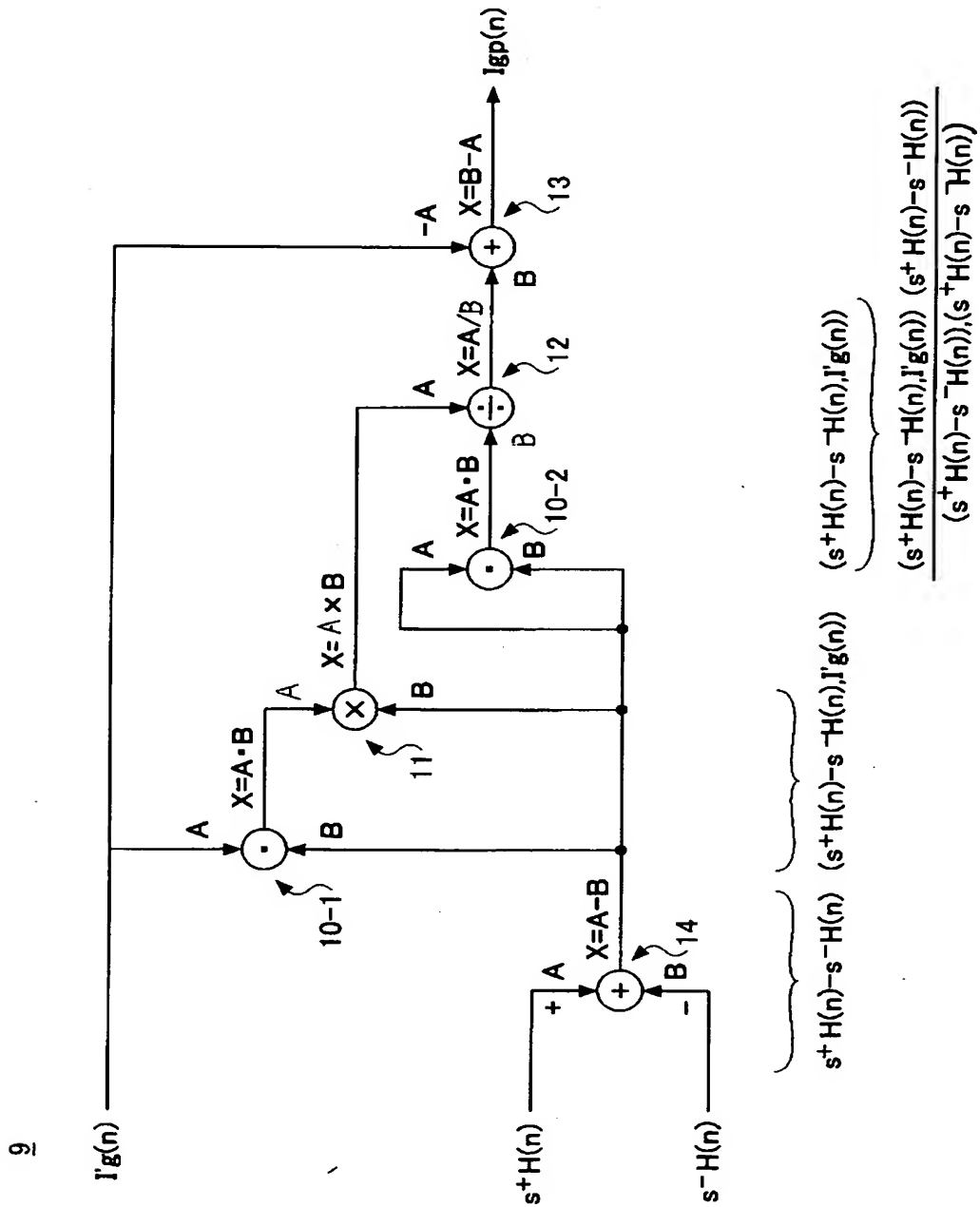
【図 10】

図 7 中の位相遅延量拘束部の内部構成を示す回路図



【図 11】

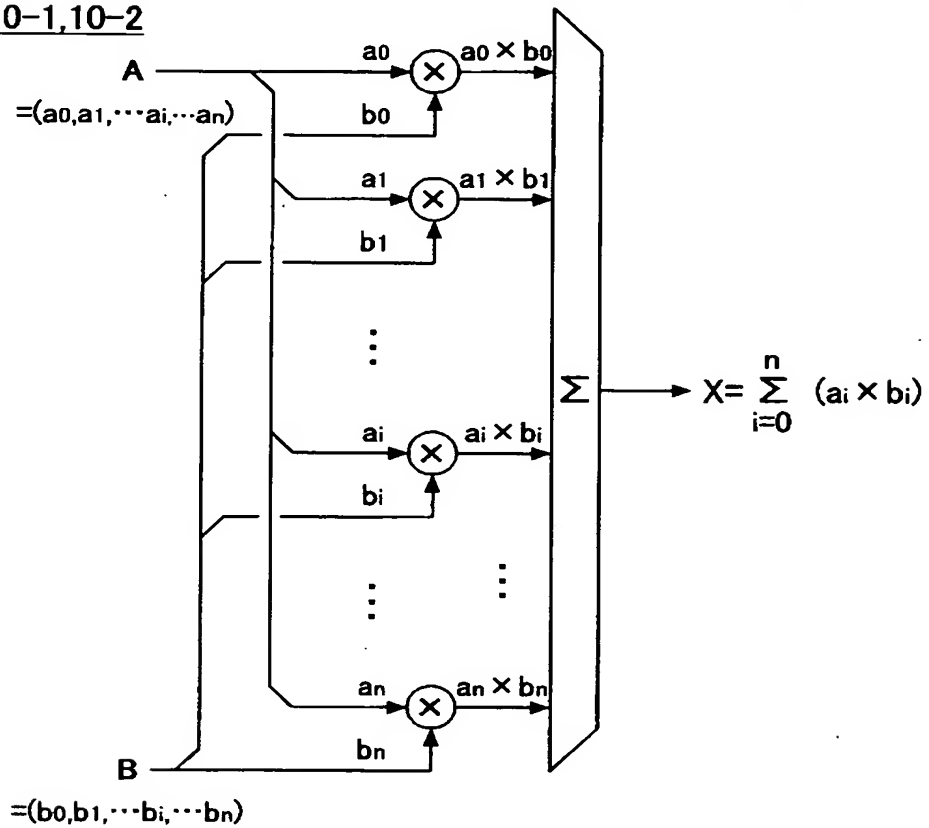
図 7 中の位相遅延量拘束部の内部構成を示す回路図



【図 12】

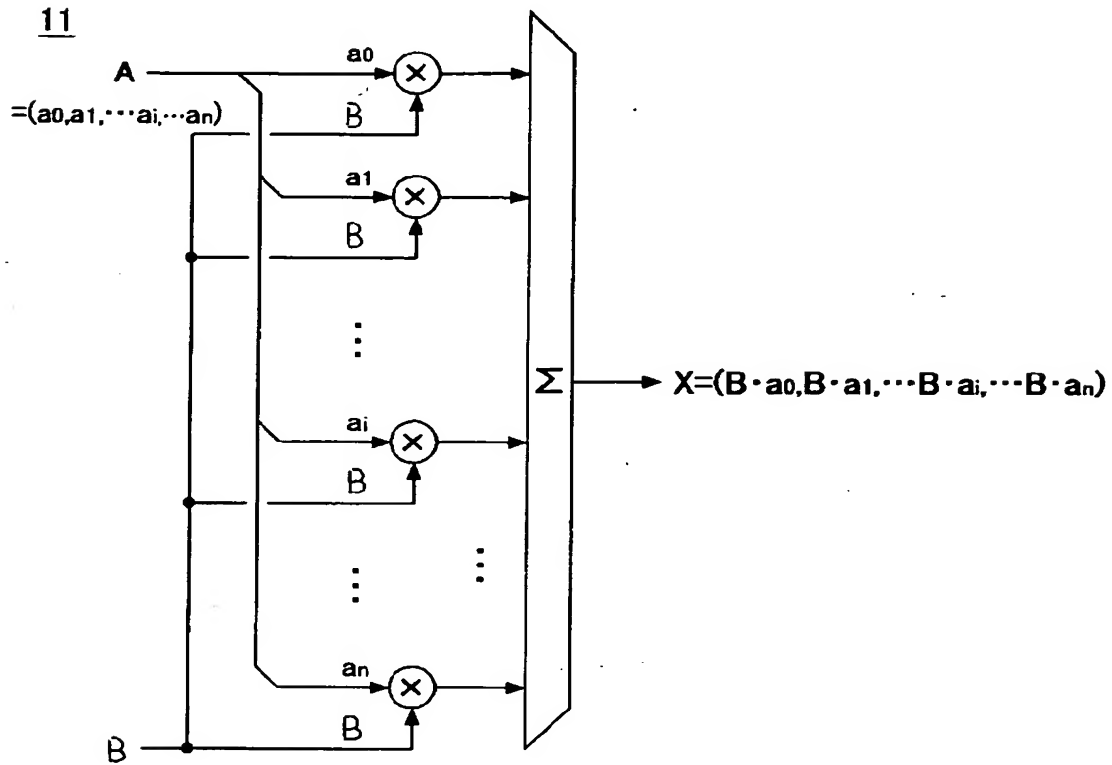
図10, 11中の各演算器の内部構成を示す回路図(その1)

10-1,10-2



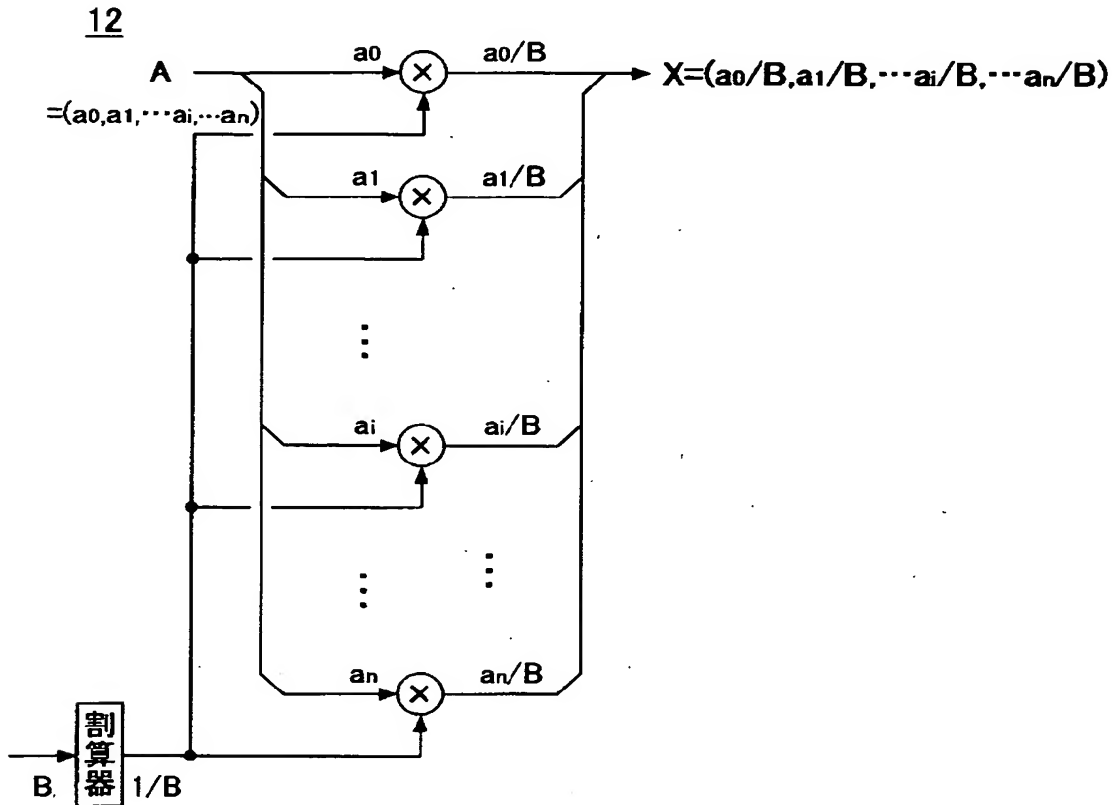
【図 13】

図 10, 11 中の各演算器の内部構成を示す回路図 (その 2)



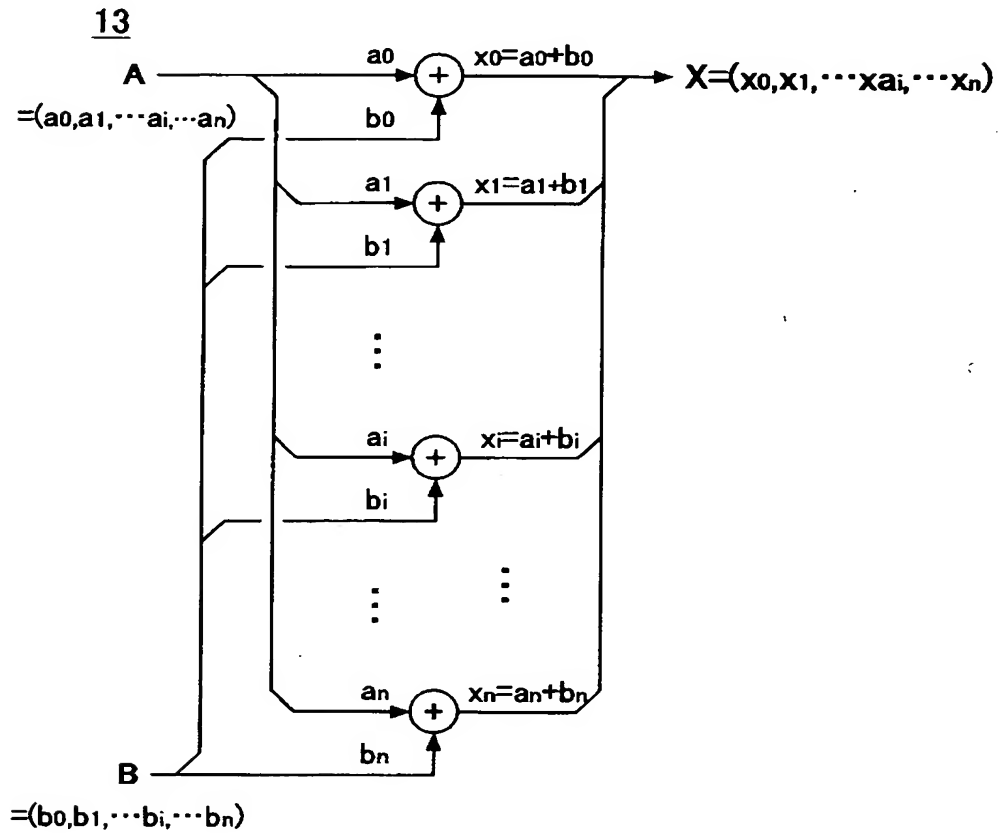
【図 14】

図10, 11中の各演算器の内部構成を示す回路図(その3)



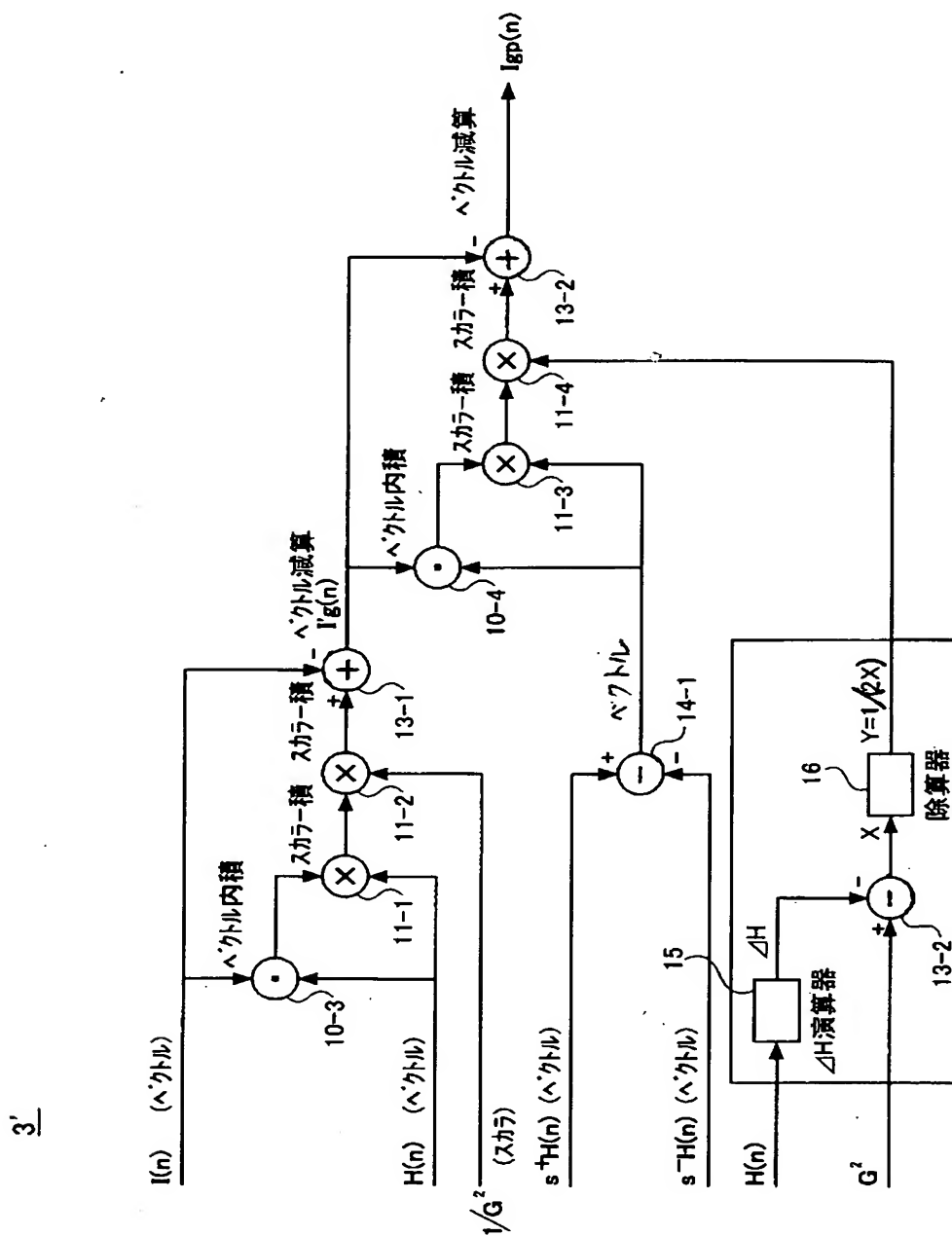
【図 15】

図 10, 11 中の各演算器の内部構成を示す回路図(その4)



【図 16】

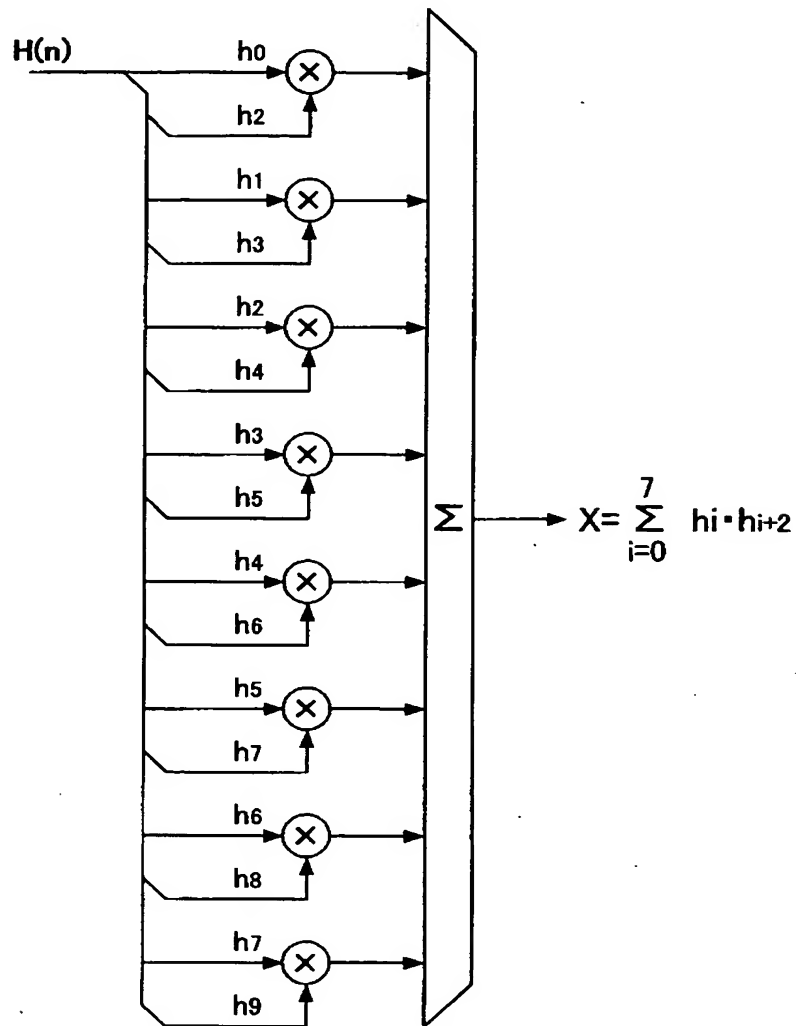
拘束条件部3の他の実施例を示す回路図



【図 17】

図16中の ΔH 演算部の内部構成を示す回路図

15



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ハードディスク装置の媒体リード信号の等化器のトレーニング動作において等化器の利得と位相遅延量を効果的に拘束する方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 等化器の各タップ毎の乗算係数よりなる係数ベクトルを更新する係数更新ベクトルを、当該係数ベクトルに垂直な平面状に拘束する構成である。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 2 - 3 4 8 7 9 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番地

氏 名

富士通株式会社

2. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社